ÜBER DIE GEGENSEITIGEN BEZIEHUNGEN ZWISCHEN DER PETROGRAPHIE UND ANGRENZENDEN WISSENSCHAFTEN.[1]

In wenig anderen Naturwissenschaften haben seit dem letzten Drittel des vorigen Jahrhunderts so tief eingreifende Veränderungen Platz gegriffen, wie in der Petrographie; erst in den jüngsten dreissig oder vierzig Jahren sind jene feineren Untersuchungsmethoden ersonnen, ausgebaut und fruchtbar gemacht worden, denen sie einen Theil ihrer heutigen Gestaltung verdankt, vor allem die Herstellung der Dünnschliffe, die Benutzung des Mikroskops sowie die Verwerthung anderer optischer Instrumente. Und mit dem Maass der dadurch gewonnenen neuen thatsächlichen Erkenntniss wuchs auch das Bestreben, unter Berücksichtigung geologischer Beobachtungen die Einsicht in den causalen Zusammenhang petrographischer Erscheinungen und in genetische Verhältnisse zu vertiefen, mit dem Descriptiven das Speculative zu verbinden. Im Verlauf jener Zeit ist nebenbei die Anzahl der Forscher auf diesem Gebiete ganz ausserordentlich gestiegen, zum Theil in Folge der Anregung und Unterstützung, welche die inzwischen neu errichteten Institute darboten, während die Aufsammlungen und Arbeiten der geologischen Landesanstalten das Untersuchungsmaterial ins Ungemessene vermehrten. Die petrographische Literatur, vordem ausser in Deutschland fast nur in England, Frankreich und Skandinavien gepflegt, hat einen sozusagen internationalen Charakter angenommen und die Vereinigten Staaten sind, nachdem einmal eine Schaar ausgezeichneter junger Gelehrten in Europa Ausbildung und Interresse gewonnen hatte, durch selbständige und unabhängige Weiterarbeit mit in die allererste Reihe getreten.

Es gibt gar keine Wissenschaft, welche für sich ganz allein, ohne passive oder active Beeinflussung bestehen könnte; wie sie alle zu ihrem Ausbau die Aufnahme von Ergebnissen verwandter Disciplinen bedürfen, so spendet auch jede wiederum von ihren eigenen Resultaten etwas zur Förderung anderer.

[1] Address presented at the International Congress of Arts and Science, Universal Exposition, St. Louis, September 22, 1904.

Wenn die Petrographie sich mit dem Material, welcher die äussere feste Erdkruste zusammensetzt mit den Gesteinen, beschäftigt, so ist es nicht zweifelhaft, dass Mineralogie und Geologie, Physik und Chemie die zunächst verwandten und solche Wissenschaften sind, welche im Dienste der Petrographie durch friedliche Assimilation selbst zur Petrographie werden, wie jeder Stein, den man zum Gebäude benutzt, dadurch ein Baustein wird, mag man ihn sonst noch nennen, wie man will.

Handelt es sich um die beiden Fragen: erstlich, was alles tragen die benachbarten Wissenschaften zum Ausbau der Petrographie bei, und zweitens, was vermag umgekehrt die Petrographie aus dem Umfange ihrer eigenen Erfahrungen abzugeben, um auf angrenzenden anderen Gebieten Verständniss von gesetzlichen Erscheinungen zu schaffen oder die Lösung von Problemen anzuregen, so scheint es, dass unsere Wissenschaft wohl im Ganzen mehr als Empfängerin, denn als Geberin dasteht, wenn auch nicht in demselben Maasse genährt und unterstützt, wie es bei jenem grossen Complex von heterogenen Disciplinen der Fall, den man die moderne Geographie nennt.

In einer Beziehung liegt die Sache freilich ganz anders, bei dem Verhältniss der Petrographie zur *Mineralogie*. Jeder, der in den letzten Jahrzehnten auf beiden Gebieten thätig war, oder gar, wie es bei mir zutrifft, auch den modernen Aufschwung der Petrographie noch mit erlebt hat, wird zugeben, dass für speciell petrographische Zwecke unternommene Studien unendlich mehr mineralogische Frucht getragen haben, als es umgekehrt der Fall. Zwar waren in den fünfzigen Jahren schon vereinzelte zusammenhanglose Versuche gemacht worden, isolirte Mineralien mit dem Mikroskop zu betrachten, Versuche aber, die bei der damals herrschenden Gleichgültigkeit, Verständnisslosigkeit oder Skepsis sozusagen ohne jede weitere Bedeutung blieben. Die methodische und verallgemeinerte mikroskopische Untersuchung der Mineralien hat jedoch erst bei den Dünnschliffen derjenigen eingesetzt, die eine Rolle als Gemengtheile von *Felsarten* spielen und in deren Erkenntniss der Hauptaufgaben der Gesteinskunde beruht, so dass alle diese Forschungen in viel grösserem Maasse um specifisch petrographischer als um specifisch mineralogischer Zwecke willen unternommen worden sind. Und alles,

was nun für die *Gesteins*mineralien mit wachsendem Eifer festgestellt wurde; die Lage der optischen und Elasticitätsaxen in ihnen, die Brechungsquotienten und die Absorptionscontraste, die Cohäsionsverhältnisse, die Gesetze ihrer Zwillingsbildungen und die Beschaffenheit ihrer feineren Structur, die Natur der in ihnen enthaltenen festen und flüssigen mikroskopischen Einschlüsse, die Erscheinungen der Zersetzung und Verwitterung, die Umbildung in neue epigenetische Substanzen—alles dieses ist nun auch der eigentlichen Mineralogie zu Gute gekommen. Auf die Entwickelungsgeschichte zahlreicher Mineralien ist erst Licht gefallen, als man veranlasst war, die *petrographischen* Vorkommnisse derselben zu studiren. Wie spärlich waren, bevor die Gesteinskunde sie in ihr Bereich zog, unsere Kenntnisse von Titaneisen, Sillimanit, Cordierit, Zoisit, Tridymit, über Nephelin, Leucit, Melilith und viele Feldspatharten, über die Glieder der Pyroxen-Amphibolgruppe; wie dürftig würden die Lehrbücher der Mineralogie erscheinen, wenn alles aus ihnen hinweggenommen wäre, was auf Grund von petrographischen Arbeiten jetzt ihren Inhalt bereichert und anziehend macht. Jene petrographisch-geologische Theorie, durch welche Bunsen die verschiedenartige chemische Zusammensetzung der eruptiven Felsarten erklären wollte, spiegelt sich wieder in der geistvollen und fruchtbringenden Auffassung Tschermak's von dem Aufbau der triklinen Feldspathe aus zwei chemisch differenten aber isomorphen Endgliedern.

Dass bei allen diesen mineralogisch-petrographischen Studien *physikalische* Methoden unausgesetzt zur Geltung kommen, versteht sich von selbst. Wenn aber auch so die optisch-physikalischen Instrumente zum Gemeingut der Petrographen geworden sind, so sollte nicht übersehen werden, dass die Letzteren für ihre speciellen Zwecke gewisse derselben eigens ersonnen, an anderen werthvolle Verbesserungen angebracht haben, was Alles wieder der eigentlichen Physik zu Gute kommt. Und sodann, dass ein beträchtlicher Theil der optischen und thermischen Gesetze überhaupt erst ergründet oder bestätigt werden konnte an Objecten, die dem Steinreich entstammen. Das physikalische Verfahren bei der Fractionirung heterogener Gemenge mittels schwerer Flüssigkeiten ist durch seine Anwendung auf petrographischem Gebiet jetzt hoher Vollendung

entgegengeführt worden. Nur zum Theil petrographischer, vorwiegend geologischer Natur sind die Untersuchungen, welche sich bestreben, die Gesetze der Mechanik anzuwenden auf das Gesteinsmaterial, welcher einer Deformation, Torsion, Zerreissung anheimfiel.

Schon sehr lange besitzen wir *chemische* Bauschanalysen von Gebirgsarten, ferner sog. Partialanalysen der in Säuren löslichen oder zersetzbaren und der davon unangegriffenen Antheile, Analysen der enizelnen isolirten Gesteinsmineralien, wenn alles dies auch anfangs vielleicht nur mehr als ornamentale Verbrämung der Gesteinsbeschreibung betrachtet und vielfach von wenig erfahrenen Novizen unternommen wurde, dann auch eine Periode der Vernachlässigung eintrat, wo das rapid wachsende Studium der Kohlenstoffverbindungen als ein verlockenderes und möglicherweise finanziellen Gewinn bringendes Gebiet erschien. Augenblicklich ist die Anwendung der *analytisch-chemischen* Untersuchungsmethoden auf das petrographische Material, in ihrer unabweisbaren Bedeutung nicht hoch genug anzuschlagen, mehr denn je zur Geltung gekommen, und wie von jeher stehen mit Recht die massigen Eruptivgesteine und die Krystallinen Schiefer im Vordergrunde des Interesses. Ja, in den letzteren Jahren scheint man gar in der Berücksichtigung der chemischen Specialitäten dann zu weit zu gehen, wenn man auf Grund von geringfügigen Differenzen unter den einwerthigen oder unter den zweiwerthigen Metallen oder zwischen beiden gleich Veranlassung nimmt, neue belastende Namen für diese überhaupt nicht stöchiometrisch zusammengesetzten Gesteinsmassen aufzustellen.

Höchst werthvolle und zahlreiche Einzelbeiträge sind jetzt im Laufe der letzten Zeit auch von Seiten der U. S. Geological Survey geliefert worden, viele Hunderte von Analysen nach immer mehr vervollkommneten und den strengsten Anforderungen genügenden Methoden, nach Methoden, die auch gezeigt haben, dass als äusserst selten geltende Stoffe, wie Vanadin, Baryum, Strontium, sich in den meisten oder fast allen Eruptivgesteinen finden, Molybdän zwar sehr spärlich, aber unerwartet häufig. Hier ist vor allem der Name des verdienstvollen Hillebrand zu erwähnen, dessen "Praktische Anleitung zur Analyse der Silicatgesteine" einen förmlichen Schatz von Erfahrungen und Fingerzugen enthält. Sehr richtig hob er hervor, vie wünschenswerth eine Wechselwirkung zwischen chemischer

und mikroskopischer Untersuchung sei, die beide häufig noch getrennt ausgeführt werden und dass, wenn das Studium der Dünnschliffe allemal den Analysen vorausginge, die letzteren viel leichter und exacter erledigt würden.

Die chemisch-petrographische Literatur ist jüngst um ein wahrhaft grossartiges Werk bereichert worden, was ebenfalls diesseits des atlantischen Oceans mit bewundernswerthem Fleiss ausgearbeitet wurde. Henry Washington hat es, ein Nachfolger von Justus Roth, aber von moderneren Gesichtspunkten ausgehend, zu Wege gebracht, alle in den 16 Jahren von 1884–1900 veröffentlichten Analysen von Eruptivgesteinen und Tuffen zusammenzustellen und kritisch zu verarbeiten; neben den einleitenden Bemerkungen über Auswahl der Objecte, Materialmengen, Maass der Genauigkeit und der Ausführlichkeit, Irrthumsquellen u. s. w. ist vor allem wichtig der erste Versuch, den Werth der Analysen gerecht und unbefangen zu taxiren: von ähnlichen Erwägungen aus, nach denen der Credit eines kaufmännischen Geschäfts beurtheilt wird, unternimmt er es, im Hinblick auf den Grad der Exactheit und der Vollständigkeit, die Analysen in 5 Gruppen zu bringen, welche in absteigender Folge die Praedicate: excellent, good, fair, poor, bad erhalten, ein sehr dankenswerthes Beginnen, hoffentlich zugleich ein Mahnruf an die Analytiker.

Bei der Veranstaltung chemisch-petrographischer Analysen handelt es sich einmal darum, überhaupt die Zusammensetzung einer Felsart festzustellen, sowohl um die procentarische Betheiligung der verschiedenen Stoffe daran zu erkennen, als auch eine Einsicht in die Stellung zu gewinnen, welche das Vorkommniss innerhalb gewisser chemischer Reihen einnimmt. Während in einem normalen Verbande sich ein constantes Steigen und Fallen der Stoffe geltend macht, sind in dieser Hinsicht namentlich bemerkenswerth die eigenthümlichen Ultraglieder, z. B. die ganz abseits stehende Gruppe der trotz grosser Basicität fast thonerdefreien und alkalifreien, aber enorm magnesiareichen Eruptivmassen, und ein anderes, vielleicht noch auffälliger aus dem allgemeinen normalen Rahmen herausfallendes Glied mit kaum 20 pro cent. Kieselsäure, alles andere fast nur Thonerde, dennoch aber ein ächtes Durchbruchsgestein.

Die neuere Zeit hat, auch zu dem Zweck, die Verwandtschaften hervortreten zu lassen, viele Bestrebungen hervorgebracht, formel-

ähnliche einfache Ausdrücke für die chemische Gesteinszusammensetzung zu gewinnen, sowie graphische Methoden zu ersinnen, wodurch das Verhältniss der einzelnen Stoffe, welche meist als aus den Gewichtsprocenten berechnete Molecularproportionen erscheinen, zur Darstellung gelangt, und der Ort angegeben wird, den eine Analyse inmitten einer Schaar von anderen einnimmt. Loewinson-Lessing, Pirsson, Michel-Lévy, Mügge, Brögger, Becke, Iddings, Osann haben auf diesem weiten Gebiete der chemisch-classificatorischen Formulirung, der Graphik und Topik verschiedene specielle Vorschläge gemacht.

Der zweite Hauptzweck der chemischen Gesteinsanalysen besteht darin, die an einem Material erfolgten substanziellen *Veränderungen* nachzuweisen, indem es mit demjenigen verglichen wird, an welchem dieselben nicht eingetreten sind. So haben die chemisch-analytischen Methoden jene grosse Summe von Kenntnissen aufgehäuft, die sich beziehen auf den gesetzmässigen Verlauf der einfachen Verwitterungen und der complicirteren Zersetzungen, welche unter dem Einfluss der allerwegen wirksamen Agentien und der dadurch zunächst beschafften carbonatischen und silicatischen Lösungen von Statten gehen. In das Verständniss von diesem stillen Spiel der chemischen Verwandtschaften und von dem gegenseitigen Austausch der Stoffe in den Felsen und Erdschichten zuerst Ordnung gebracht zu haben, ist das unvergängliche Verdienst des grossen Meisters Gustav Bischof.

Aber auch für die Einsicht in andere mehr locale Umwandlungen innerhalb der Gesteinswelt muss die Chemie helfend zur Seite stehen. Einmal da, wo in Folge des Durchbruchs von emporgedrängten Eruptivmassen die angrenzenden Gebirgsschichten oft auf weite Erstreckung hin in denjenigen veränderten Zustand versetzt worden sind, den man den *contactmetamorphischen* nennt. Soweit die Einwirkung des activen Eruptivgesteins auf die passive Umgebung in diesen hofähnlichen Umwandlungsgebieten erkannt werden kann, von der Grenze beider an, wo die Energie des Metamorphismus am intensivsten ist, bis dahin, wo die letzten äussersten Spuren in das unverändert gebliebene Nebengestein ausklingen, findet sich des betroffene Material, je nachdem es sich solchen Einflüssen gegenüber mehr oder weniger empfänglich verhält, in dieser oder jener Weise alterirt, indem an Hunderten über die ganze Erde verstreuten Orten auf

eine in den grossen Zügen übereinstimmende Art sein Mineralbestand und auch sein Gefüge zu einem anderen geworden ist. Auf chemischem Gebiete muss hier entschieden werden, ob es sich dabei um eine blosse moleculare Umlagerung der in dem Nebengestein vorhanden gewesenen Stoffe handelt, oder ob dasselbe auch eine wesentliche Veränderung seiner chemischen Zusammensetzung dadurch erlitten hat, dass die Eruptivmasse bei der Erstarrung etwa Stoffe aus sich ausschied und in dasselbe hinein abgab. Grosse Reihen von vergleichenden Analysen schienen, wenigstens für die Tiefengesteine, das Erstere zu bekräftigen, dass in der Regel diese contactmetamorphischen Ereignisse erfolgen ohne Zufuhr und Abfuhr von Substanzen, dass das active Gestein blos durch seine Eruption, durch die von ihm ausgeübten physikalischen Bedingungen des Drucks und der Temperatur wirkte, nicht auch durch die jeweilige Beschaffenheit seiner eigenen Masse. Französische Forscher sind freilich im Gegensatz dazu der Ansicht, dass auch bei den üblichen contactmetamorphischen Umwandlungen, z. B. von Thonschiefer in Hornfels, Fruchtschiefer, Garbenschiefer neu zugeführte Stoffe in dem Substrat eine Rolle spielen; dass Letzteres im Contact mit intrusiven Diabasen thatsächlich der Fall, wurde schon früh durch chemische Analysen erwiesen. Und wenn bei dem Durchbruch gewisser Granite durch ein Nebengestein sich das letztere, abgesehen von den sonst gewöhnlichen Alterationen, mit neugebildetem Turmalin, Topas, Zinnstein, Axinit, fluorhaltigem Glimmer in immer wiederkehrender geschlossener Gesellschaft ausgestattet zeigt, so ist es nicht zweifelhaft, dass die Entstehung dieser, vielfach an Spalten gebundener Mineralien in Verbindung gebracht werden muss mit einer die Granit-eruption begleitenden fumarolenähnlichen Aushauchung von fluor- und borhaltigen Dämpfen, also thatsächlich eine Aussendung fremder chemischer Stoffe in die Umgebung hinein stattgefunden hat.

Nun gibt es aber auch noch eine andere Art der Gesteinsmetamorphose als die durch Contact bedingte: die *gebirgsbildenden Druckkräfte* waren es, die in weiten Regionen das Material, auf welches sie wirkten, zusammengepresst, gestaucht, zermalmt haben, wobei es dann in der Regel zur Erwerbung eines anderen, namentlich schieferigen Gefüges und daneben auch zur Herausbildung eines abweichenden Mineralbestandes gekommen ist. Dabei erhebt sich

aber die wichtige Frage, wie es mit der chemischen Beschaffenheit solcher Druckproducte bestellt ist. Auf ein unzulängliches Material gestützt und im Banne von tendentiös erwünschten Vorstellungen hat man den Satz ausgesprochen, dass auch mit den weitestgehenden Umgestaltungen in Structur und Mineralführung eine chemische Veränderung von nennenswerthem Betrage *nicht* verbunden sei. Es ist das Verdienst von Reinisch, durch eine umfangreiche Analysenreihe dies als Irrthum aufgedeckt und für die druckmetamorphisch umgebildeten Orthoklasgesteine, für gepresste Diabase gezeigt zu haben, dass sie in gesetzmässiger Weise sogar einer recht erheblichen chemischen Veränderung unterlegen sind. Für die einzelnen Stoffe können bei normalem und gepresstem Gestein, welches den Gewässern Unmengen neuer Angriffspunkte bietet, die Differenzen so bedeutend werden, dass von einer unversehrten Erhaltung des chemischen Bestandes keine Rede mehr ist und dass damit das früher versuchte zurückschliessen aus der Analyse des Druckproducts auf das ursprüngliche Gestein—bei dem ganz verwischten chemischen Bilde des letzteren—einfach unmöglich wird.

Diese Beispiele zeigen, welch ein unentbehrliches Hülfsmittel die chemische Analyse für petrographische Probleme darstellt. Aber die Fülle des Dankes liegt doch nicht ganz allein auf der einen Seite, es lassen sich vielmehr auch gewisse Beziehungen anführen, wo umgekehrt die Chemie zu einiger Erkenntlichkeit Veranlassung hätte, indem sie durch die Petrographie nicht ganz gleichgültige Anregung zur Verschärfung oder Erweiterung ihrer eigenen Methoden erhalten hat.

Vor die Aufgabe gestellt, auch die nur ganz spurenhaft in den irdischen Gesteinen vorhandenen Elemente nachzuweisen, mussten die Chemiker darauf Bedacht nehmen, jene Reactionen ausfindig zu machen, wodurch diese Elemente am besten in ihrer Gegenwart erkannt, am schärfsten von einander getrennt und am sichersten quantitativ bestimmt werden können.

Die auf Begehr der Petrographie zu ihren Gunsten unternommenen Arbeiten z. B. von Hillebrand sind so der ganzen analytischen Chemie zu Gute gekommen. In Diensten der Petrographie fand Gooch die neuen Trennungsmethoden für Titan, Lithium, Bor und seinem erfinderischen Geschick verdanken die Chemiker den Gebrauch des

perforirten Platinfiltrirtiegels und des gekrämpten Platintiegels zur Wasserbestimmung. Der Mineralreichthum der Stassfurter Salzlager hat van't Hoff Anregung geboten zu seinen Jahrelangen wichtigen Untersuchungen über Gleichgewichtsverhältnisse, Löslichkeitscurven und Bildungsbedingungen von Hydraten, Doppelsalzen und Producten des doppelten Umtausches.

Neben der üblichen Makrochemie ist letzthin auch eine *Mikrochemie* erwachsen und ausgebaut worden. Hier unternimmt es das mikroskopisch bewaffnete Auge, die an dem zu prüfenden Object erfolgenden Veränderungen und die Natur der neu hervorgerufenen Producte zu erkennen. Haben die Reagentien auf ein winzig kleines Partikelchen oder ein Lösungströpfchen gewirkt, so kommt es vor allem darauf an, beim Verdunsten zwar nur mikroskopische, aber so charakteristisch krystallisirte und optisch wohl gekennzeichnete Producte der Reaction zu erhalten, dass sie zur zweifellosen Erkennung des dieselben bedingenden, in der Probe enthaltenen Elements verwerthet werden können, Wenn diese specifisch mikrochemischen Methoden, für zahlreiche Elemente äusserst befriedigend ersonnen und sehr häufig angewandt, jetzt der qualitativen Analyse zu Gebote stehen, so möge das Historische nicht vergessen werden, dass sie zuerst als etwas Neues lediglich um *petrographischer* Zwecke willen in die Wege geleitet wurden. Boricky war es, der 1877 bei seinen Gesteinsuntersuchungen auf die Idee kam, die Mineralpartikel mit Kieselfluorwasserstoff zu behandeln, um Fluorsiliciumsalze der Alkalien, der alkalischen Erden u. s. w. zu erhalten, die durch ihre unterscheidbaren Formen das in sie eingetretene neue Element verrathen.

Immer weiter um sich greift die Überzeugung, dass eine grosse Anzahl petrogenetischer Probleme ihr Verständniss finden wird auf dem Boden derjenigen Wissenschaft welche, obschon sie dem Namen nach zwischen zwei anderen steht, doch in letzterer Zeit mit ihren hochbedeutenden Errungenschaften eine förmliche Selbständigkeit beanspruchen darf, der *physikalischen Chemie.* Dass ihre Grundzätze, Gesetze und Arbeitsmethoden für petrographische Gebiete fruchtbar gemacht werden können, zum Theil schon verwerthet worden sind, mögen folgende skizzenhafte Andeutungen darthun.

Es ist eigenthümlich, dass ein Begriff, der als ein anscheinend neuer, durch seine Aufstellung grosses Interesse erweckte, der der

festen Lösungen, in der Petrographie schon lange Zeit vorher als eine selbstverständliche Thatsache gegolten hat. Wir haben von jeher gewusst, dass, indem das Lavamagma eine schmelzflüssige Lösung mit wechselndem Verhältniss der Mischungstheile ist, auch sein chemisch identisches, homogenes, festes amorphes Erstarrungsproduct, welches entsteht, wenn die moleculare Beweglichkeit aufhört, bevor krystallinische Ausscheidung beginnt, dass das natürliche Glas nichts anderes sein kann, als eine unterkühlte festgewordene Lösung.

Bei den natürlichen Silicatschmelzflüssen wird nicht mehr ein Gegensatz von gelösten Körpern und einem Lösungsmittel von bestimmter stöchiometrischer Zusammensetzung angenommen, es sind gegenseitige wahrscheinlich dissociirte Lösungen; die Speculationen über die Natur der auch ihrer Herkunft nach stets ganz problematisch gewesenen Lösungsmittel sind dadurch belanglos geworden.

Die Gesetze, welche die Krystallisation aus wässerigen Lösungen beherrschen, müssen, wie schon Bunsen hervorhob, auch gültig sein für schmelzflüssige. Zweifellos steht auch die Consolidation von natürlichen Schmelzflüssen unter der Herrschaft der von Gibbs für Salzlösungen aufgestellten Phasenregel; aber in Folge der Complicationen, welche durch die Gegenwart so vieler im Magma gelöst vorhandener Verbindungen bedingt werden, dürfte es schwerlich gelingen, auf diesem Gebiete ihre Wirkung auf die Ausscheidungsfolge zu specialisiren.

Als ein altes Hauptproblem gilt die *Reihenfolge*, in welcher die einzelnen Mineralgemengtheile eines gleichmässig körnigen Eruptivgesteins festgeworden sind, oder, genauer ausgedrückt, in welcher sie zu krystallisiren *angefangen* haben. Dass es keineswegs, wie Rosenbusch glaubte, die zunehmende Acidität ist, sondern nach dem Hinweis von Lagorio weit mehr die Natur der Basen, wodurch diese Succession in normalen Fällen geregelt wird, dürfte nicht mehr auf Widerspruch stossen. Diejenigen Stoffe, welche am leichtesten sättigen, werden zuerst zum Aufbau der Ausscheidungen verbraucht, die am schwersten sättigenden zuletzt Und experimentell ist nachgewiesen, dass die abnehmende Reihenfolge in der Sättigungsfähigkeit für schmelzende Silicatlösungen lautet: Eisenoxyde, Magnesia, Kalk, Natron, Kali und Thonerde, welche erst relativ spät in das

Molecül der verschiedenen Gemengtheile eintritt, dann Kieselsäure selbst. Doch liegen hunderte von wohlstudirten Beispielen vor, wo die darnach construirte Reihenfolge: Eisenerze, Olivin und rhombische Pyroxene, monokline Pyroxene, Amphibol und Biotit, Anorthit, Kalknatronfeldspathe, Nephelin, Albit und Aegirin, Orthoklas, Quarz nicht eingehalten wird, sei es, dass diese Reihe an gewissen Stellen eine *Umkehrung* erfährt, oder dass Mineralien, welche erst nach einander hätten krystallisiren sollen, *gleichzeitig* ausgeschieden vorliegen.

Blos zweierlei scheint ganz festzustehen: erstlich, dass in den kieselsäurereichen Gesteinen solcher Art mit Gehalt an Quarz dieser in der Regel mit zu den letzten Verfestigungen gehört, und sodann, dass die Träger der nur äusserst spärlich oder spurenhaft in dem Magma vorhandenen Stoffe, der Phosphorsäure, Zirkonsäure, Titansäure u. s. w., also Apatit, Zirkon, Rutil, Titanit, Ilmenit, Perowskit zu allererst zu krystallisiren anhuben, wenn sie auch in einigen Fällen, gleichwie die Erze, eine nicht unbeträchtlich lange Ausscheidungsdauer besitzen. Es ist fraglich, ob die frühe Festwerdung dieser Accessorien, wie oft geglaubt wird, in der That auf ihrem geringen Mengenverhältniss beruht, denn weil die Lösung dann für dieselbe verdünnt erscheint, hätten sie wohl eigentlich gerade umgekerht erst ganz spät auskrystallisiren müssen. Da man auch nicht, in etwas drastischer Weise, dem Magma das Bestreben zuschreiben kann sich dieser Fremdkörper gewissermassen zunächst zu entledigen, so ist zur Deutung der Thatsache vielleicht eher anzunehmen, dass jene Mineralien in der silicatischen Lösung bei niedrigeren Temperaturen besonders schwer löslich sind.

Die Ursachen für jenes abwechslungsvolle Verhalten der Hauptmineralien in ihrer Krystallisationsfolge sind zum guten Theil noch recht unbekannt. Die Behandlung der Frage gestaltet sich aber dadurch besonders schwierig, dass man bei Experimenten und theoretischen Erwägungen nur mit zwei Substanzen in Lösung zu operiren pflegt, während ein Silicatgesteinsmagma in der Regel über vier Substanzen gleichzeitig gelöst enthält.

Es wurde hingewiesen auf die Thatsache, dass in gewissen Lösungen der *Temperaturspielraum* für das Herausfallen *einer* Verbindung, z. B. Leucit, ein engbegrenzter, für das Auskrystallisiren einer

anderen Verbindung, z. B. Augit, unter sonst gleichen Umständen ein viel weiter begrenzter sein kann, so dass sich aus dem gleichen Magma je nach der Temperatur der Augit bald vor, bald nach dem Leucit auszuscheiden vermag. Auch Meyerhoffer hat gezeigt, dass je nach dem labilen Gleichgewicht aus derselben Schmelze bald *a*, bald *b* zuerst krystallisiren kann.

Noch durch ein weiteres Moment kann die Reihenfolge der Ausscheidungen verändert werden, durch den *Druck.* Da nach der üblichen Auffassung die gesteinsbildenden Mineralien sich beim Erstarren aus ihrer Schmelze contrahiren so muss, wie Sorby und Bunsen nachwiesen, verstärkter Druck diese Contraction befördern, d. h. die Krystallisation beschleunigen. Die damit zusammenhängende Verschiebung des Erstarrungspunktes erfolgt aber dann bei verschiedenen Körpern ungleichmassig, so dass zwei Körper, die unter einfachem Atmosphärendruck verschiedenen Erstarrungspunkt haben, unter erhöhtem Druck, unter welchem die Schmelzpunkte näher zusammengerückt sind, gleichzeitig erstarren können, während unter noch stärkerem Druck der vorher rascher erstarrende zum langsamer erstarrenden werden kann, auf Grund dessen sich die Reihenfolge der Ausscheidungen ändert, z. B. zwischen dem leichter schmelzbaren Augit und dem schwerer schmelzbaren Orthoklas.

Nach Doelter könnte auch die *Krystallisationsgeschwindigkeit* in so fern von Belang sein, als der Vorsprung, welchen die schwerere Löslichkeit einer Substanz *a* für ihre frühere Ausscheidung hat, eingeholt oder überholt wird durch die raschere Krystallisationstendenz einer leichter löslichen Substanz *b*. Tritt dies nicht, wie es der Fall sein sollte, allenthalben ein, so liesse sich als Ursache dafür vielleicht die abweichende Viscosität der Magmen anführen, mit welcher sich die Krystallisationsgeschwindigkeit ändert; sollte die Viscosität, die Zunahme der inneren Reibung, der Auskrystallisation von *a* und *b* gleichmässig entgegenwirken, so würde jener Vorsprung nicht so leicht oder überhaupt nicht eingeholt werden.

Andere physikalisch-chemische Fragen auf diesem Gebiete sind die warhscheinlich zu verneinende, ob und wie weit die Reihenfolge der Ausscheidungen beeinflusst wird durch die *relativen Mengenverhältnisse* der Bestandtheile; über die noch wenig untersuchte Wir-

kung der sog. *Impf*-krystalle; sodann, ob in gewissen gleichmässig-fein und in bestimmtem Verhältniss gemengten Aggregaten zweier Mineralien, die sich an den Felsarten betheiligen, etwa das Product einer *eutektischen Mischung* im Sinne Guthrie's, analog den Kryohydraten, vorliegt. Weiterhin über die Rolle, welche die sog. *Mineralisatoren*, die "agents minéralisateurs" bei der Verfestigung des Magmas spielen, jene darin vorhandenen, zum Theil gasigen Stoffe, welche auf die Auskrystallisation rein katalytisch zu wirken scheinen, d. h. dieselbe befördern, ohne selbst dabei verwandelt zu werden und ohne in die bei ihrer Gegenwart sich bildenden Substanzen einzutreten. Besser sind wir, namentlich durch Iddings, darüber unterrichtet, durch welche Ursache die so häufigen magmatischen *Corrosionen* und Resorptionen, die Wiederauflösungen bereits ausgeschiedener Gemengtheile bedingt werden, wobei es sich um Verschiebung des Gleichgewichtszustandes zwischen der festen und flüssigen Phase handelt.

Ganz besonders wird aber auch die Mithülfe der physikalischen Chemie Noth thun bei der Erklärung der *Differenzirung der Magmen*, der weithin verbreiteten Erscheinung, dass umfangreiche Eruptivmassen, auch mächtige Gänge, sich gespalten haben in ein saureres, vorwiegend alkalisches, auch thonerdereicheres und in ein basischeres, an Eisen- und Magnesiasilicaten reicheres, an Thonerde und Alkalien armes Theilmagma, wobei das erstere fast immer im Centrum, das letztere als basische Randfacies an der Peripherie lagert. Die Entstehung dieser Theilmagmen muss während des Flüssigkeitszustandes durch Diffusionen in entgegengesetzter Richtung vor sich gegangen sein und so handelt es sich insbesondere um zwei Fragen: 1., welche Kräfte überhaupt die Separation in die abweichend beschaffenen polar entgegengesetzten Theilmagmen, das Zusammengehen der zweiwerthigen Metalle mit einander und mit wenig Silicium, das der einwerthigen mit mehr Aluminium und mehr Silicium veranlasst haben, und 2., weshalb das acidere Theilmagma nun gerade die centrale, das basischere die peripherische Stelle eingenommen hat.

Mehrere Einwendungen lassen sich dagegen erheben, hier das von Soret aufgestellte, von van't Hoff ausgebaute Princip zur unmittelbaren Anwendung zu bringen, dass der oder die Bestandtheile, mit denen eine Solution nahezu gesättigt ist, sich an den kälteren Stellen

anzuhäufen streben; der Satz ist z. B. nur für die Vertheilung *eines* gelösten Stoffs in einem Lösungsmittel nachgewiesen. Guy und Chaperon's Satz, dass die Schwere mitwirkt die Homogeneität einer Solution aufzuheben, kann hier keine Gültigkeit beanspruchen, denn dann müsste das schwerere basischere Theilmagma in einem unteren, das leichtere acidere in einem oberen Niveau erscheinen und der Gegensatz zwischen Centrum und Peripherie würde dadurch nicht erklärt. Wer aber in schwer verständlicher Weise die Erscheinung der randlichen Basicität auf eine Einschmelzung angrenzenden Nebengesteins zurückführen will, setzt sich mit einer Unmenge von Thatsachen in Widerspruch und verneint ausserdem überhaupt eine stattgefundene Differenzirung.

Einen wesentlichen Schritt zur Förderung der Erkenntniss hat Brögger gethan, welcher in speciellen Fällen nachwies, dass es wohl nicht die einzelnen Stoffe, sondern bestimmte stöchiometrische Verbindungen gewesen sind, welche eine entgegengesetzte Diffusionsrichtung verfolgt haben, indem sich die kieselsäurearmen Eisen-Magnesia-Kalksilicate in der einen, die kieselsäurereichen Alkali-Thonerdesilicate in der anderen Richtung bewegten und dass ausserdem diese Verbindungen als solche den Mineralien der Eruptivgesteine entsprechen, in denen, wie bekannt, ja auch Alkalien, Aluminium nebst Calcium einerseits, Magnesium, Eisen nebst Calcium andererseits zusammenzugehen pflegen. So seien es die am schwersten löslichen Verbindungen, welche nach der Abkühlungsfläche hin diffundiren und in so fern hänge die Differenzirung zusammen mit den die Krystallisationstendenz beherrschenden Gesetzen. Ähnlichen Vorstellungen scheint sich Harker hingegeben zu haben. Hierin liegt gewiss eine wichtige Erläuterung, welche aber nur Thatsachen erkennt, keine eigentliche Erklärung gibt, und immerhin bleibt es eine Frage, worin denn nun jene treibende Kraft besteht, vermöge deren der melanokrate Pol gerade eine peripherische, der leukokrate eine centrale Position einnimmt. Uber die Unterschiede in den Diffusionsconstanten der betreffenden Verbindungen ist nichts bekannt.

Um ähnliche Gegensätze, wie sie zwischen Centrum und Rand in einem und demselben Massiv bestehen, handelt es sich da, wo in einer Gegend viele sog. *complementäre Gänge* aufsetzen, acidere neben

basischeren, welche dann aufgefasst werden, als spaltenerfüllende Producte einer in übereinstimmender Weise zur Geltung gekommenen Differenzirung eines plutonischen Magmas.

Eine hoch wichtige Frage ist es, ob das gluthflüssige Eruptivmagma beim Übergang in den starren krystallinischer Zustand eine *Verminderung* oder eine *Vermehrung* seines Volumens erfährt. Gustav Bischof, Mallet und David Forbes haben sich auf Grund von experimentellen Untersuchungen bei basischen Flüssen für das Eintreten einer Zusammenziehung um *ca.*1/10 der Masse ausgesprochen, womit auch die Entstehung von Contractionsrissen in der verfestigten Lava übereinstimmt. Die vielcitirten Versuche von Barus wurden in der Weise ausgeführt, dass das feste Gestein zurückgeschmolzen und dabei im Einklang mit dem Vorhergehenden nun eine Volumvermehrung der Schmelze constatirt wurde.

Die Frage hat aber dadurch wieder die Aufmerksamkeit in hohem Grade auf sich gezogen, weil sie bei der neuen Vulkantheorie von Stübel eine wesentliche Rolle spielt. Stübel läugnet, dass der Druck der sich contrahirenden Erdkruste auf den eigentlichen gluthigen Erdkern die vulkanischen Erscheinungen bewirke; er hält dafür dass es die in der langsam erstarrenden sog. Panzerdecke der Erde restlich erhalten gebliebenen und nestähnlich abgefangenen relativ kleinen Reservoirs von gluthflüssigem Magma sind, welche dadurch zur Eruption auf einem Ausbruchscanal gelangen, dass bei dem Erstarrungsprocess eine Volumvergrösserung eintritt. Da er nun aber, angesichts der bisherigen Ergebnisse, es doch selbst als wohlbegründet anerkennen muss, dass wenigstens der Schlusseffect umgekehrt in einer Contraction besteht, so glaubt er es als höchst wahrscheinlich annehmen zu dürfen, dass innerhalb des Erkaltungsprocesses eine vorübergehende Phase der Schwellung, der Volumvermehrung, sich einstellt; experimentell ist aber darüber gar nichts bekannt.

Ein weiteres physikalisch-chemisches Princip, welches petrographische Vorgänge innerhalb der Sedimentgesteine erklärt, ist das Bestreben, die vorhandene *Oberfläche* für eine Summe neben einander gelagerter gleichartiger Individuen möglichst zu *verkleinern.* Nur wenn die Berührungsfläche zwischen einem Krystall und seiner gestättigten Lösung ein Minimum ist, scheint das Gleichgewicht

zwischen beiden erreicht zu sein. Befeuchtet man das Pulver löslicher Salze und lässt es längere Zeit stehen, so nimmt die Masse eine deutlich krystallinische Zusammensetzung aus grösseren Individuen an, ein Theil der kleinen Partikelchen wächst in seinen Dimensionen auf Kosten der anderen, welche dabei als solche aufgezehrt werden. Auf ähnliche Weise wird auch durch Rekrystallisation nach solchem Gesetz und mit solcher Wirkung die Structurbeschaffenheit derjenigen grosskörnigen Marmore gedeutet, für welche es wahrscheinlich ist, dass sie früher ganz dichte Kalksteine dargestellt haben, indem unter der Gegenwart kohlensäurehaltigen Wassers die kleinen Körnchen das Bestreben haben, durch gegenseitige Assimilation und durch Umlagerung ihrer Molecüle zu gleichartiger Orientirung in einander aufzugehen und sich zu grösseren Individuen auszuwachsen. Ferner wird so das bisweilen ziemlich grobe Korn der älteren Salzbildungen verständlich, während die Absätze der Jetztzeit aus den Salzseen fast dicht ausfallen, ebenso das Wachsthum des Gletscherkorns vom Firn abwärts bis zum unteren Ende des Eistroms.

Da die Petrographie einen Theil der *Geologie* bildet, so ist die enge Verbindung selbstverständlich; beide ergänzen sich gegenseitig und eine Geologie ohne Petrographie gibt es nicht, wie auch keine Petrographie, welche die auf anderen Gebieten der Geologie gemachten Enfahrungen vernachlässigen könnte. Davon hier specieller zu reden dürfte jedoch in ähnlicher Weise nicht erforderlich sein, wie wenn man das Verhältniss von Palaeontologie und Geologie auseinandersetzen wollte.

So steht die moderne Petrographie heute da inmitten eines reichen Kranzes angrenzender Wissenschaften, von hüben und drüben fliesst Anregung, Erkenntniss und Belehrung im glüchlichen Wechsel zusammen. Wenn aber auch von unserer Wissenschaft kaum das stolze Anerbieten an die Nachbarn ausgehen darf: "do ut des, ich gebe, damit Du gibst," so lässt sie doch nicht vergeblich und ohne ihrerseits zu viel zu versprechen, die bescheidenere Bitte erklingen: "da ut dem, gib Du mir, dann gebe ich auch etwas."

FERDINAND ZIRKEL.

LEIPZIG, GERMANY.